

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-071981

(43)Date of publication of application : 12.03.2002

(51)Int.CI.

G02B 6/12  
G02B 1/02  
G02B 5/32  
G02F 1/01  
G02F 1/03  
G02F 1/29

(21)Application number : 2000-265433

(71)Applicant : FUJI PHOTO FILM CO LTD

(22)Date of filing : 01.09.2000

(72)Inventor : BABA TOSHIHIKO  
TANI TAKEHARU

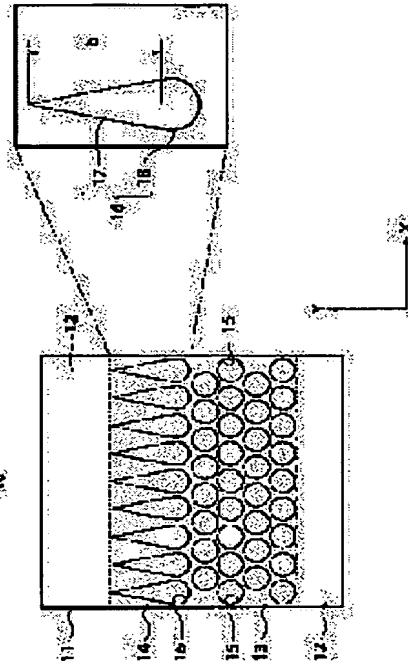
## (54) OPTICAL ELEMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical element small in light reflection loss in the boundary between a photonic crystal and a usual medium.

**SOLUTION:** The device is provided with a usual medium region 12 having a first refractive index, the photonic crystal region 13 which has a second refractive index different from the first refractive index as its average refractive index and whose refractive index is cyclically changed depending on its position, and an intermediate region 14 which is interposed between the usual medium region 12 and the photonic crystal region 13 and whose refractive index is gradually changed from the first refractive index to the second refractive index.

(特許2002-265433A)



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**BEST AVAILABLE COPY**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

2003.11.26. 2003.11.26.

THIS PAGE BLANK (USPTO).

&lt;105&gt;

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-71981

(P2002-71981A)

(43) 公開日 平成14年3月12日(2002.3.12)

(51) Int. C1.<sup>7</sup>G 02 B    6/12  
            1/02  
            5/32  
G 02 F    1/01

識別記号

F I  
G 02 B    1/02  
            5/32  
G 02 F    1/01  
            1/03テマコード(参考)  
2H047  
2H049  
F 2H079  
A 2K002

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L

(全8頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-265433(P2000-265433)

(71) 出願人 000005201

富士写真フィルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(22) 出願日 平成12年9月1日(2000.9.1.)

(72) 発明者 馬場 俊彦

神奈川県大和市中央林間6-10-16 サン

メグロ II 102

(72) 発明者 谷 武晴

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フィルム株式会社内

(74) 代理人 100100413

弁理士 渡部 溫 (外1名)

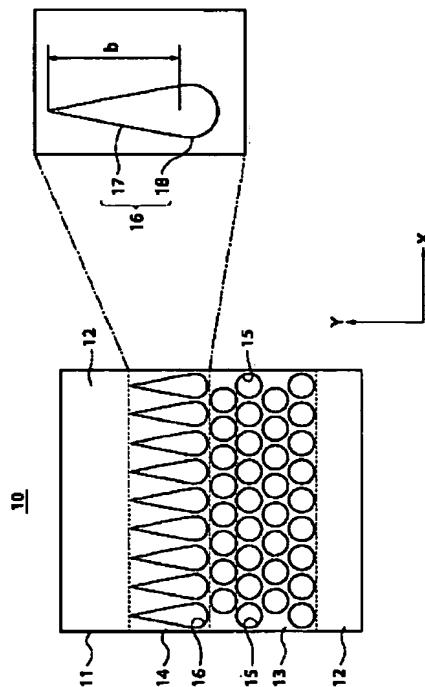
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光素子

## (57) 【要約】

【課題】 フォトニック結晶と通常媒質との界面における光の反射損失が小さい光素子を提供する。

【解決手段】 第1の屈折率を有する通常媒質領域12と、第1の屈折率と異なる第2の屈折率を平均屈折率として、位置によって屈折率が周期的に変化しているフォトニック結晶領域13と、通常媒質領域12とフォトニック結晶領域13との間に介在し、屈折率が第1の屈折率から第2の屈折率へと徐々に変化している中間領域14とを具備する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の屈折率を有する通常媒質領域と、前記第1の屈折率と異なる第2の屈折率を平均屈折率として、位置によって屈折率が周期的に変化しているフォトニック結晶領域と、前記通常媒質領域と前記フォトニック結晶領域との間に介在し、屈折率が前記第1の屈折率から前記第2の屈折率へと徐々に変化している中間領域と、を具備する光素子。

【請求項2】 前記フォトニック結晶領域は、前記通常媒質領域を構成する第1の材料の一部に複数の空孔、又は、前記第1の材料と異なる第2の材料を配列することによって構成されており、

前記中間領域は、前記第1の材料の他の一部に複数の空孔、又は、前記第1の材料と異なる第3の材料を配列することによって構成されており、前記中間領域に配列された空孔、又は、第3の材料は、前記通常媒質領域に向けて先細りとなる突部を有する形状であることを特徴とする請求項1記載の光素子。

【請求項3】 前記中間領域に配列された空孔、又は、第3の材料における突部の長さと、前記フォトニック結晶領域に配列された空孔、又は、第2の材料の配列ピッチとの比であるアスペクト比が3以上であることを特徴とする請求項2記載の光素子。

【請求項4】 前記フォトニック結晶領域は、前記通常媒質領域を構成する第1の材料の一部に複数の空孔、又は、前記第1の材料と異なる第2の材料を配列することによって構成されており、

前記中間領域は、前記第1の材料の他の一部に複数の空孔、又は、前記第1の材料と異なる第3の材料を前記フォトニック結晶領域よりも低密度で配列することによって構成されていることを特徴とする請求項1記載の光素子。

【請求項5】 前記フォトニック結晶領域は、前記通常媒質領域を構成する第1の材料の一部に複数の空孔、又は、前記第1の材料と異なる第2の材料を配列することによって構成されており、

前記中間領域は、前記第1の材料の他の一部に前記第1の材料及び前記第2の材料と異なる第3の材料を配列することによって構成されていることを特徴とする請求項1記載の光素子。

【請求項6】 前記通常媒質領域における屈折率と前記フォトニック結晶領域における平均屈折率との比が2.3以上であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項記載の光素子。

【請求項7】 前記フォトニック結晶領域において、前記第1の材料中に空孔又は前記第2の材料が2次元三角格子状に配列されていることを特徴とする請求項2～6のいずれか1項記載の光素子。

【請求項8】 前記第1の材料がシリコンであることを

10 特徴とする請求項2～7のいずれか1項記載の光素子。

【請求項9】 前記光素子は、光の変調に用いられる光変調素子であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項記載の光素子。

【請求項10】 前記光素子は、波長又は入射角度に応じて光を偏向するのに用いられる光偏向素子であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項記載の光素子。

【請求項11】 前記光素子は、スイッチング素子であることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項記載の光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、一般的に光素子に関し、特に、位置によって屈折率が周期的に変化するフォトニック結晶を用いた光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、従来の光学結晶に比べて特異な分散特性を示すフォトニック結晶の開発が進んでおり、光変調素子や光偏向素子やスイッチング素子等の光素子への応用が期待されている。フォトニック結晶は、第1の材料中に屈折率の異なる第2の材料を光の波長程度の周期で配列させることによって構成されており、位置によって屈折率が周期的に変化する性質を有している。このようなフォトニック結晶が示す特性については、例えば、H. Kosaka等による「Superprism phenomena in photonic crystals」(Physical Review B Vol. 58, No. 16, 1998年10月15日)等に詳述されている。

## 【0003】

30 【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、フォトニック結晶を用いた従来の光素子においては、フォトニック結晶と通常媒質との界面における光の反射損失が大きく、未だ改良すべき問題点が残されていることが、本発明者達の解析によって明らかになった。上記問題点に鑑みて、本発明は、フォトニック結晶と通常媒質との界面における光の反射損失が小さい光素子を提供することを目的とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決するため、本発明に係る光素子は、第1の屈折率を有する通常媒質領域と、第1の屈折率と異なる第2の屈折率を平均屈折率として、位置によって屈折率が周期的に変化しているフォトニック結晶領域と、通常媒質領域とフォトニック結晶領域との間に介在し、屈折率が第1の屈折率から第2の屈折率へと徐々に変化している中間領域とを具備する。

【0005】 本発明によれば、中間領域において屈折率を第1の屈折率から第2の屈折率へと徐々に変えているため、通常媒質領域とフォトニック結晶領域との間ににおけるインピーダンスの不整合が中間領域において徐々に

解消される。従って、フォトニック結晶領域の界面における光の反射損失を抑えることができる。

#### 【0006】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しながら、本発明の実施形態について説明する。尚、以下に用いられる諸数値は、一例としての値であって、本発明の範囲内において様々な値に変更することが可能である。

【0007】図1は、シリコンを材料とする基板101の中央部にフォトニック結晶領域102を形成することによって構成される光素子100を示す平面図である。図1に示すフォトニック結晶領域102においては、円柱状の複数の空孔103が、光の進行方向と直交して5層に形成されて2次元三角格子状に配列されており、これらの空孔103には空気が満たされている。本実施形態においては、基板101の実効屈折率を3.065とし、例えば、対象となる光の真空中の波長が1.55μmである場合には、空孔103の半径rを0.387μm、空孔103が配列されるピッチaを0.93μmとする。

【0008】このようなフォトニック結晶領域102は、例えば、基板101上の空孔103を形成しない部分にレジストを形成した後、垂直性の良いドライエッティングを基板101に施すことによって形成される。

【0009】フォトニック結晶中の伝播光は、同結晶の周期構造による多重散乱の影響を受け、その伝播特性は、半導体における電子のバンド図に類似したフォトニックバンド図によって説明される。例えば、図1に示すフォトニック結晶領域102中を紙面に平行に光が伝播し、その偏波面も紙面に平行である場合には、図2に示すようなフォトニックバンド図（還元ゾーン形式）が得られる。フォトニックバンド図は、逆格子空間における波数ベクトルと、規格化周波数（ $\Omega = \omega a / (2\pi c)$  但し、 $\omega$ は光の角周波数、aは空孔間のピッチ、cは真空中の光速）との関係を与える。尚、図2の横軸に付した各記号「Γ」や「M」や「K」は、図3に示すような第1ブリルアンゾーン（the first Brillouin zone）における特定の波数ベクトルを表している。

【0010】図2にも示すように、フォトニックバンドには、光がフォトニック結晶中を伝搬できない規格化周波数帯域（フォトニックバンドギャップ）が存在する。

このため、フォトニックバンドギャップよりも低いか又\*

$$N_{Av} = N_1 \pi r^2 + N_2 \{ a^2 s q r t (3) / 2 - \pi r^2 \} \dots (1)$$

ここで、

$N_1$ ：空孔に充填された材料の屈折率

$N_2$ ：背景材料の屈折率

$s q r t (x)$  : xの正の平方根を求める関数式を表している。

【0014】例えば、(1)式に次の各数値、 $N_1 = 1$ 、 $N_2 = 3.065$ 、 $a = 0.93 \mu m$ 、 $r = 0.387 \mu m$ を代入すると、平均屈折率 $N_{Av}$ が1.32とな

\*は高い規格化周波数帯域の光がフォトニック結晶中を伝搬する。図2においては、0.29～0.45の規格化周波数帯域がフォトニックバンドギャップである。また、0.45～0.80の規格化周波数帯域（伝搬帯域）において、フォトニック結晶領域102中をy軸の負方向に伝搬する光（点Γ～点Mの波数ベクトル）が存在する。

【0011】フォトニック結晶の光の透過特性を利用して光素子を作製する場合には、フォトニック結晶の伝搬

10. 帯域に属する光の、同結晶の透過前後における損失が低いことが理想である。そこで、本発明者達は、図2における0.5～0.75の規格化周波数帯域に属するガウス分布パルス光を図1の矢印方向へ伝搬させ、フォトニック結晶領域102から出射された直後の位置Pにおいてシミュレーションにより求められた光の強度に基づいて透過率と反射率を計算した。尚、このシミュレーションは、フォトニック結晶の数値解析に一般的に用いられているFDTD法を用いて行われた。

【0012】図4は、上記の計算によって得られた規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

尚、図4において、実線は透過率、破線は反射率を表している。図4に示すように、図1のフォトニック結晶領域102の伝搬領域に属する光を同領域102中に伝搬させたにも拘わらず、透過率は-8dB～-10dBであり、光の強度がフォトニック結晶領域102の透過前後において1桁近く落ちていることが分かる。一方、フォトニック結晶領域102の伝搬領域に属する光の、同領域102の界面における反射率は高い。従って、フォトニック結晶領域102の界面における反射損失が、同領域102の透過前後における光強度の低下の主な原因であると推察される。このような損失は、フォトニック結晶の伝搬領域に属する透過光を利用する場合には不適当であり、出力信号のS/Nが悪化したり光源のハイパワー化が必要になる。

【0013】フォトニック結晶領域102においては、面積比からも分かるように空孔103が支配的であることから、同領域102の平均屈折率はシリコンに比べて低い。空孔が2次元三角格子状に配列しているフォトニック結晶領域の平均屈折率 $N_{Av}$ は、次の式（1）によって与えられる。

40 る。この場合に通常媒質領域の材料が屈折率 $N = 3.065$ であると、屈折率Nと平均屈折率 $N_{Av}$ との比が2.3と大きい値を示す。従って、フォトニック結晶の伝搬帯域に属する光であっても、フォトニック結晶と通常媒質との界面におけるインピーダンスの不整合が大きいために、その光が界面から強く反射されてしまうと考えられる。そして、屈折率Nと平均屈折率 $N_{Av}$ との比が2.3より大きくなると、フォトニック結晶と通常媒質との

界面において光がさらに強く反射される。

【0015】そこで、本発明者達は、以下に説明するような中間領域を通常媒質領域とフォトニック結晶領域の間に介在させることによって、フォトニック結晶の伝搬帯域に属する光の透過率の向上を試みた。

【0016】図5は、本発明の第1の実施形態に係る光素子の構成を示す平面図である。光素子10は、シリコンを媒質とする基板11の中央部にフォトニック結晶領域13を形成し、さらに、基板11の上部の通常媒質領域12とフォトニック結晶領域13との間に中間領域14を形成することによって構成されている。

【0017】フォトニック結晶領域13においては、円柱状の複数の空孔15が2次元三角格子状に配列されており、これらの空孔15には空気が満たされている。一方、中間領域14においては、通常媒質領域12に向けて先細りとなった突部17を有する空孔16が横1列

(x軸の正方向)に等間隔に配列されており、突部17の下半分は半円柱部18となっている。フォトニック結晶領域13の場合と同様に、これらの空孔16にも空気が満たされている。

【0018】本発明者達は、中間領域14における空孔16の突部17の長さbと、フォトニック結晶領域13における空孔15間のピッチaとの比であるアスペクト比を変えて、フォトニック結晶領域13の伝搬帯域に属する光の同領域13に対する透過率と反射率を計測した。図6～図15は、アスペクト比が1～10の各々の場合における、規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。尚、各図において、実線は透過率、破線は反射率を表している。これらの図に示されているように、アスペクト比を3以上とすると、フォトニック結晶の伝搬帯域(0.5～0.75の規格化周波数帯域)の広範囲に亘って、伝搬領域に属する光の同結晶に対する透過率の増加が見られ、平均的には透過率が4dB～5dB改善されることが分かる。この場合において、中間領域14の平均屈折率とフォトニック結晶領域13の平均屈折率との比は、2.3未満とする。

【0019】本実施形態においては、中間領域14における空孔16を通常媒質領域12に向けて先細りの形状とすることによって、中間領域14において、屈折率を通常媒質領域12の屈折率からフォトニック結晶領域13の平均屈折率へと徐々に下げている。従って、通常媒質領域12とフォトニック結晶領域13の間におけるインピーダンスの不整合が中間領域14において徐々に解消され、フォトニック結晶領域13の界面における光の反射損失を抑えることができる。

【0020】上述したように、通常媒質領域12の屈折率Nとフォトニック結晶領域13の平均屈折率N<sub>Av</sub>との比が2.3より大きくなると、通常媒質領域12とフォトニック結晶領域13との界面において光が強く反射されるが、上述したような中間領域14を設けることによ

って、上記実施形態と同様に、フォトニック結晶領域13の界面における光の反射損失を抑えることができる。

【0021】図16は、本発明の第2の実施形態に係る光素子の構成を示す平面図である。以下、図5と共に通ずる要素に同じ参照符号を付して、これらの説明を省略する。光素子20の中間領域14においては、フォトニック結晶領域13よりも大きいピッチで、円柱状の複数の空孔21が2次元三角格子状に配列されており、これらの空孔21にも空気が満たされている。

【0022】本実施形態においては、フォトニック結晶領域13の空孔15と同じ形状の空孔21を、フォトニック結晶領域13よりも低密度で中間領域14に配列させることによって、通常媒質領域12とフォトニック結晶領域13の間におけるインピーダンスの不整合を徐々に解消させている。従って、本実施形態によって第1の実施形態と同様の効果を達成できる。

【0023】図17は、本発明の第2の実施形態に係る光素子の構成を示す平面図である。光素子30の中間領域14においては、フォトニック結晶領域13と同じピッチで、円柱状の複数の空孔31が2次元三角格子状に配列されているものの、これらの空孔31には、通常媒質領域12の材料(例えば、シリコン)よりも屈折率が小さく空気よりも屈折率が大きい材料(例えば、硝子)が充填されている。

【0024】本実施形態においては、フォトニック結晶領域13と同じ密度で配列された空孔31に、通常媒質領域12を構成する材料よりも屈折率が小さく空気よりも屈折率が大きい材料を充填することによって、通常媒質領域12とフォトニック結晶領域13の間におけるインピーダンスの不整合を徐々に解消させている。従って、本実施形態によって第1の実施形態と同様の効果を達成できる。

【0025】尚、第1～第3の実施形態において、フォトニック結晶領域における空孔の配列は、図2のような2次元三角格子配列に限らず、2次元正方格子配列等の他の2次元的な周期配列や3次元的な周期配列であっても良い。このように空孔を配列させた場合にも第1～第3の実施形態を適用することによって、同じ効果を達成できる。

【0026】また、第1～第3の実施形態において、フォトニック結晶領域の空孔や媒質を電場によって屈折率が変化する材料により構成すれば、光素子を光変調素子、光偏向素子又は光のスイッチング素子として用いることができる。即ち、光素子のフォトニック結晶領域の各端面に電極を対向するように取り付け、これらの電極間に電場を印加してフォトニック結晶領域の屈折率を変化させることによって、この領域を通過する光の強度や向きを変えることができ、光の変調、偏向、スイッチング等を行うことができる。尚、電場によって屈折率を変えることができる材料としては、例えば、ニオブ酸リチ

ウムを挙げることができる。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、フォトニック結晶と通常媒質との界面における光の反射損失を抑えることができ、光の透過性に優れた光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光素子の一般的な構造を示す平面図である。

【図2】図1に示すフォトニック結晶領域中を光が紙面に平行に伝播し、その偏波面も紙面に平行である場合におけるフォトニックバンド図である。

【図3】図1のフォトニック結晶の第1ブリルアンゾンを特定の規格化周波数で輪切りにした図である。

【図4】図1に示すフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る光素子の構造を示す平面図である。

【図6】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を1とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図7】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を2とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図8】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を3とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図9】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を4とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図10】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を5とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属す

る光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図11】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を6とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図12】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を7とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図13】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を8とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図14】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を9とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図15】図5に示す中間領域におけるアスペクト比を10とし、同図のフォトニック結晶領域の伝搬帯域に属する光を同領域に透過させた場合における規格化周波数と透過率及び反射率との関係を示す図である。

【図16】本発明の第2の実施形態に係る光素子の構造を示す平面図である。

【図17】本発明の第3の実施形態に係る光素子の構造を示す平面図である。

【符号の説明】

10、20、30 光素子

11 基板

30 12 通常媒質領域

13 フォトニック結晶領域

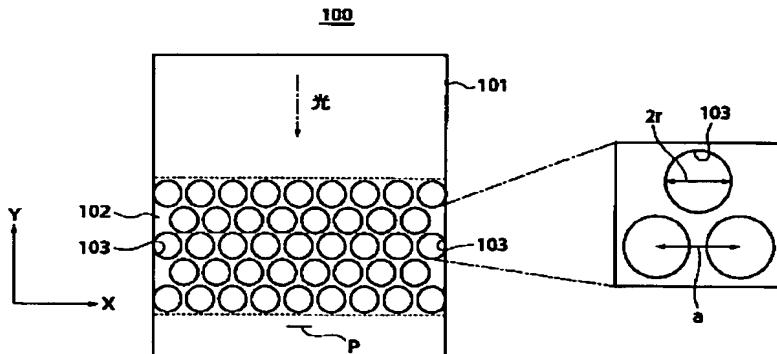
14 中間領域

15、16、21、31 空孔

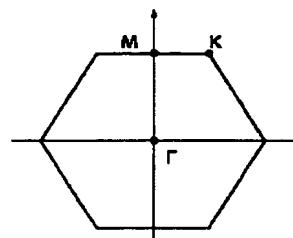
17 突部

18 半円柱部

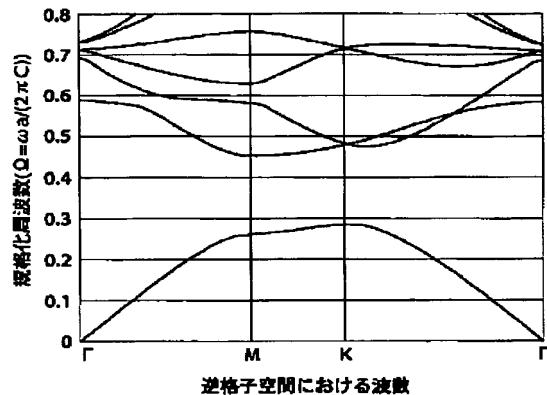
【図1】



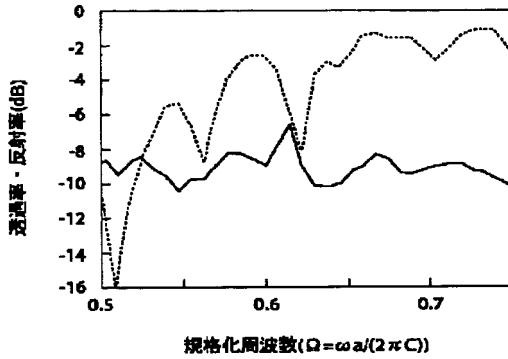
【図3】



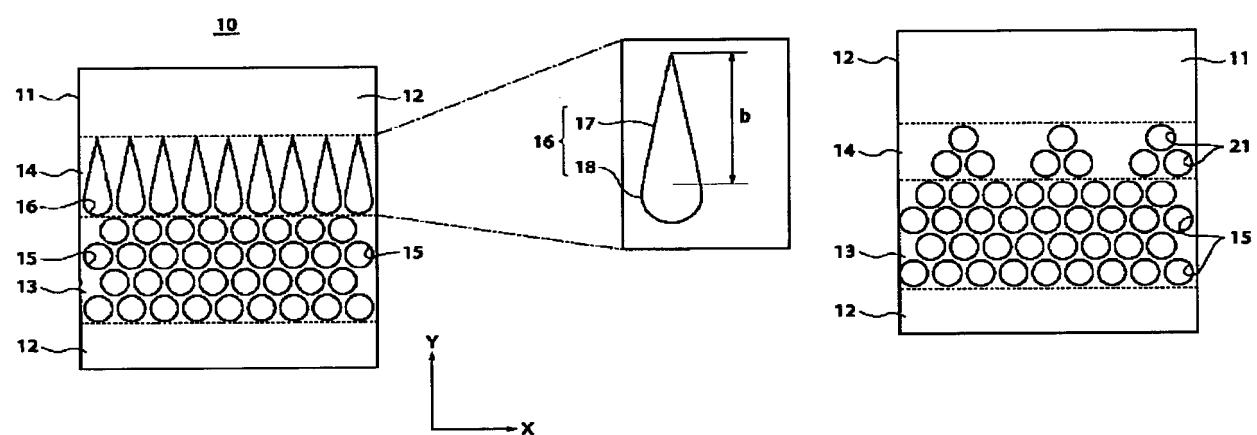
【図2】



【図4】



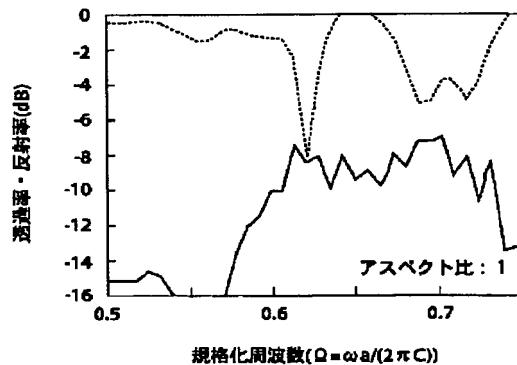
【図5】



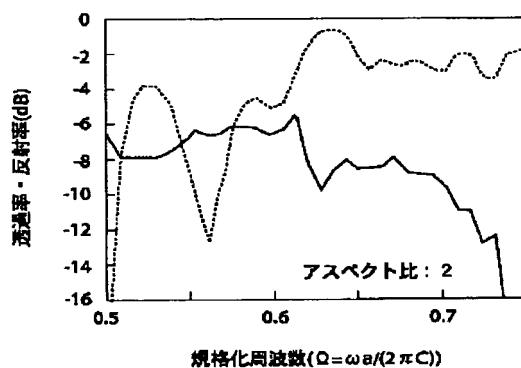
【図16】

20

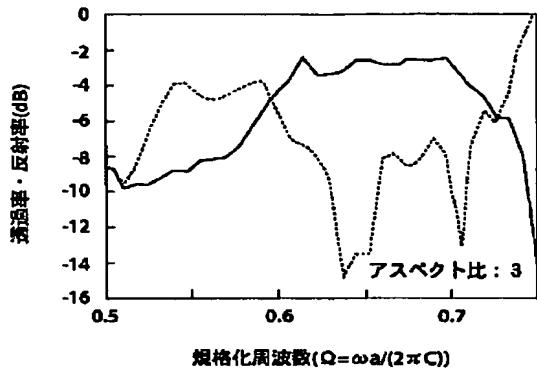
【図6】



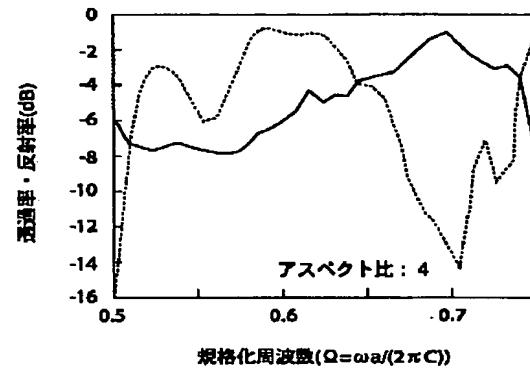
【図7】



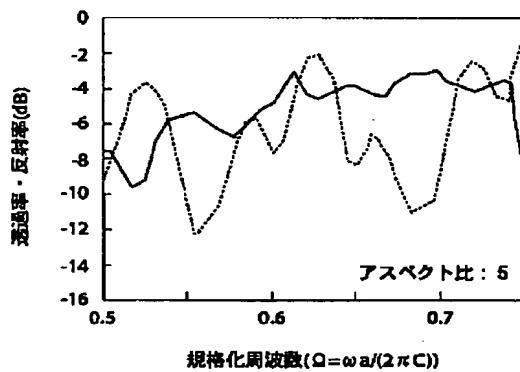
【図8】



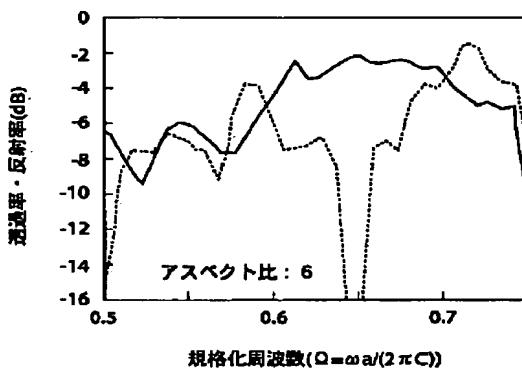
【図9】



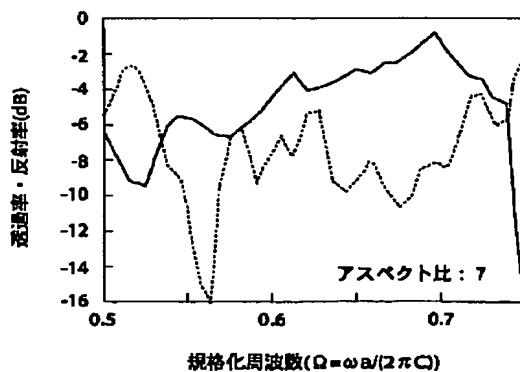
【図10】



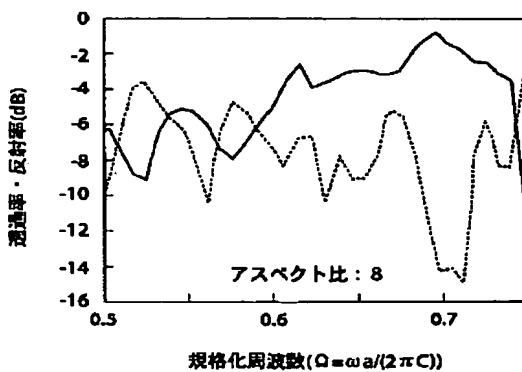
【図11】



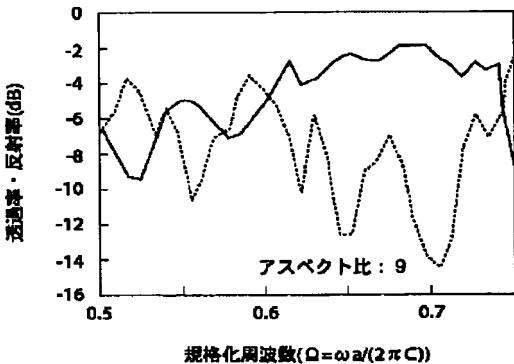
【図12】



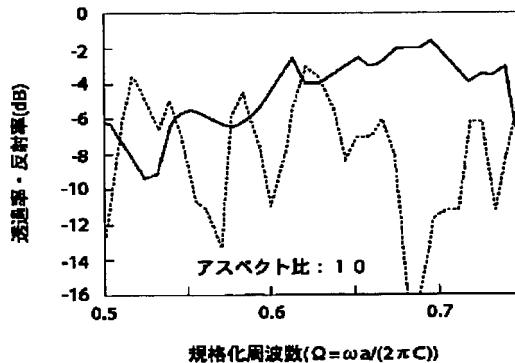
【図13】



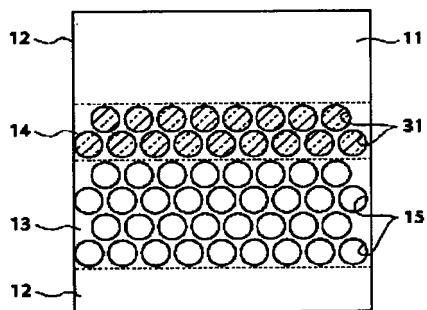
【図14】



【図15】



【図17】

30

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

G 02 F 1/03  
1/29

識別記号

5 0 5

F I

G 02 F 1/29  
G 02 B 6/12

テーマコード(参考)

Z  
N

F ターム(参考) 2H047 QA01 RA08  
 2H049 CA05 CA15 CA30  
 2H079 AA02 CA05 DA01  
 2K002 AB04 BA06 CA03 CA30 HA08